

УДК 665.664.3:577.152.3

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСТРАКЦІЇ ОЛІЇ ІЗ СОНЯШНИКОВОЇ МАКУХИ БІОКАТАЛІТИЧНИМ ШЛЯХОМ

**П. О. Некрасов**

Доктор технічних наук, професор\*

Контактний тел.: (057) 707-64-95

E-mail: nekrasov2007@gmail.com

**О. П. Некрасов**

Кандидат технічних наук, професор

Кафедра фізичної хімії\*\*

Контактний тел.: (057) 707-65-50

E-mail: nekrasov@kpi.kharkov.ua

**О. В. Аверіна**

Викладач\*

Контактний тел.: (057) 707-64-95

E-mail: podlesnayalena@rambler.ru

\*Кафедра технології жирів та продуктів бродіння

\*\*Національний технічний університет «Харківський

політехнічний інститут»

вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

*У роботі встановлено оптимальні умови та отримана математична модель, що дозволяє прогнозувати вплив кожного параметра на результативність ферментативного процесу підготовки соняшникової макухи до вилучення олії*

**Ключові слова:** соняшникова макуха, математичне моделювання, гідролаза

*В работе установлены оптимальные условия и получена математическая модель, позволяющая прогнозировать влияние каждого параметра на результативность ферментативного процесса подготовки подсолнечного жмыха к извлечению масла*

**Ключевые слова:** подсолнечный жмых, математическое моделирование, гидролаза

*In the present work the optimal conditions were obtained and the mathematical model was developed allowing to predict the influence of each parameter on the efficiency of the enzymatic process of sunflower cake preparation for oil extraction*

**Key words:** sunflower cake, mathematical modeling, hydrolase

В традиційній технології для інтенсифікації екстракції олії із соняшникової макухи її піддають попередньої обробці низкою методів з отриманням відповідно крупки, пелюстка або гранул. Вказані методи підготовки мають такі вади: використовується громіздке, енергоємне та важке в експлуатації обладнання; додаткова волого-теплова обробка погіршує якість продукції, що отримують; при виготовленні пелюстка утворюється мучниста фракція, яка погіршує перколяцію розчинника у шар матеріалу, забруднює місцелу, заважає відгонці розчинника зі шрота [1, 2].

У зв'язку з цим набуває актуальності розробка нових методів підготовки макухи до вилучення олії, які виключали б вказані вади традиційної технології. Одним із інноваційних шляхів вирішення поставленої задачі є використання біокаталітичних процесів. Ферментативні процеси проходять у м'яких умовах (температура близька до кімнатної, нормальний тиск), не потребують складного апаратурного оформлення. Все це забезпечує значне зменшення витрат

матеріальних та енергоресурсів за рахунок підвищення виходу високоякісних цільових продуктів поряд з мінімізацією формування побічних [3 – 5].

Метою роботи було встановлення оптимальних параметрів ферментативного процесу підготовки соняшникової макухи до вилучення олії. Критерієм оптимізації був вихід олії, який оцінювали за стандартною методикою миттєвого збовтування [6]. Параметрами, що варіювались, було обрано вміст ферментного препарату, тривалість та температура біокаталітичного гідролізу макухи. В якості біокаталізатора використовувався комплексний ферментний препарат «Церемікс» (виробник – фірма «Новозаймс», Данія), який має у своєму складі низку гідролаз, зокрема β-глюканазу, α-амілазу, нейтральну протеазу і геміцелюлазу.

Для оптимізації процесу було застосовано методологію поверхні відклику. Вказана методологія є сукупністю математичних та статистичних прийомів, спрямованих на моделювання процесів та знаходження комбінацій експериментальних рядів предикторів

з метою оптимізації функції відклику [7]. Вибір рівнів та інтервалів варіювання факторів було здійснено за результатами попередніх експериментів. Матрицю планування та отримані експериментальні значення функції відклику (середні значення 2-х паралельних досліджень) представлено в табл. 1.

Матриця планування та функція відклику

№	Вміст ферментного препарату, $e$		Тривалість процесу гідролізу, $\tau$		Температура процесу гідролізу, $t$		Вихід олії ( $F$ ), %
	Код. рівень	% до маси макухи	Код. рівень	Хвилини	Код. рівень	°C	
1	-1	0,28	-1	40	-1	49	24,5
2	-1	0,28	-1	40	+1	61	34,4
3	-1	0,28	+1	100	-1	49	38,7
4	-1	0,28	+1	100	+1	61	42,5
5	+1	0,82	-1	40	-1	49	38,1
6	+1	0,82	-1	40	+1	61	42,0
7	+1	0,82	+1	100	-1	49	47,0
8	+1	0,82	+1	100	+1	61	49,4
9	-1,682	0,10	0	70	0	55	32,0
10	+1,682	1,00	0	70	0	55	47,5
11	0	0,55	-1,682	20	0	55	30,6
12	0	0,55	+1,682	120	0	55	47,2
13	0	0,55	0	70	-1,682	45	35,3
14	0	0,55	0	70	+1,682	65	46,4
15	0	0,55	0	70	0	55	45,8
16	0	0,55	0	70	0	55	46,0
17	0	0,55	0	70	0	55	46,2
18	0	0,55	0	70	0	55	45,9

Статистичний аналіз експериментальних даних було проведено за допомогою пакета Statistica (StatSoft, Inc.).

Отримане рівняння моделі має вигляд:

$$F = -215,294 + 87,916 \cdot e - 30,024 \cdot e^2 + 0,892 \cdot \tau - 0,003 \cdot \tau^2 + 6,635 \cdot t - 0,050 \cdot t^2 - 0,093 \cdot e \cdot \tau - 0,571 \cdot e \cdot t - 0,005 \cdot \tau \cdot t \quad (1)$$

де  $F$  – вихід олії, %;  $e$  – вміст ферментного препарату, % до маси макухи;  $\tau$  – тривалість процесу гідролізу, хвилини;  $t$  – температура процесу гідролізу, °C.

Для перевірки значущості коефіцієнтів регресії (1) було побудовано діаграму Парето, яку представлено на рис. 1 (L – лінійний ефект, Q – квадратичний ефект). На вказаній діаграмі Парето (рис. 1) приведено стандартизовані коефіцієнти, які відсортовано за абсолютними значеннями. Аналіз даних показує, що усі колонки перетинають вертикальну лінію, що є 95 %

довірчою ймовірністю. Таким чином, можна зробити висновок, що усі ефекти та їх взаємодії є значущими для досліджуваного процесу.

Адекватність отриманої моделі перевірялась методом дисперсійного аналізу, результати якого представлено в табл. 2.

Таблиця 1

Дані, наведені в таблиці 2, свідчать про те, що отримана модель адекватно описує експеримент.

На основі пошуку екстремумів математичної залежності (1) визначено оптимальні параметри, що дозволяють отримувати максимальний вихід олії, а саме: вміст ферментного препарату – 0,8 % до маси макухи; тривалість процесу гідролізу – 94 хвилини; температура процесу гідролізу – 57 °C.

З метою дослідження основних закономірностей впливу предикторів на протікання процесу в цілому було побудовано поверхні відклику (рис. 2), які відображають залежність виходу олії від кожної пари параметрів при фіксованому в оптимумі значенні третього параметру.

Аналіз поверхонь відклику, представлених на рис. 2, дозволяє зробити наступні висновки. Процес доцільно здійснювати в межах температур 55–60 °C при оптимумі 57 °C. Подальше підвищення температури знижує ефективність процесу внаслідок теплової денатурації ферментного комплексу. Подовження тривалості гідролізу макухи та збільшення вмісту біокатализатора вище оптимальних значень у свою чергу веде до незначного зменшення виходу олії. Це обумовлюється тим, що при вказаних умовах має місце вивільнення гідрофобних фрагментів білків та структурних полісахаридів олійної сировини, які були екрановані в нативному виді. За рахунок цього підвищується жирутворююча спроможність макухи, що веде до зменшення виходу цільового продукту.

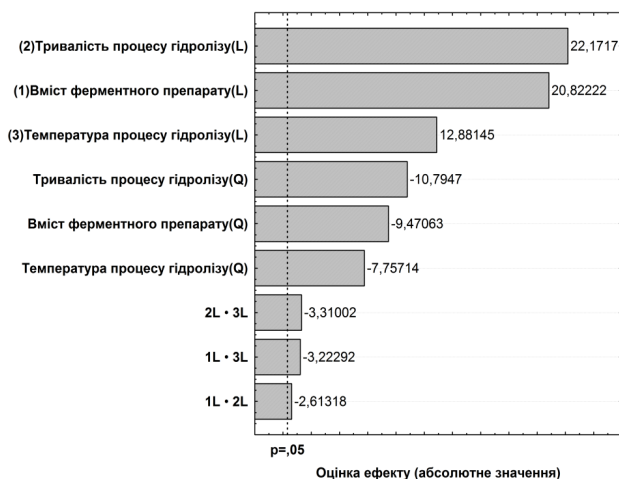


Рис. 1. Діаграма Парето

Таблиця 2

## Дисперсійний аналіз моделі

Фактор	Сума квадратів, $SS$	Ступінь свободи, $df$	Середнє значення квадрата, $MS$	$F$ -критерій	Рівень значущості, $p$
(1) Вміст ферментного препарату, % (L)	285,7122	1	285,7122	433,5648	0,0004
Вміст ферментного препарату(Q)	59,1061	1	59,1061	89,6928	0,0013
(2) Тривалість процесу гідролізу, хв. (L)	323,9462	1	323,9462	491,5845	0,0001
Тривалість процесу гідролізу(Q)	76,7882	1	76,7882	116,5252	0,0010
(3) Температура процесу гідролізу, °C (L)	109,3463	1	109,3463	165,9317	0,0005
Температура процесу гідролізу(Q)	39,6532	1	39,6532	60,1733	0,0054
1L · 2L	4,5000	1	4,5000	6,8287	0,0310
1L · 3L	6,8450	1	6,8450	10,3872	0,0122
2L · 3L	7,2200	1	7,2200	10,9563	0,0107
Похибка	5,2719	8	0,6590		
Загальна сума квадратів	869,7850	17			

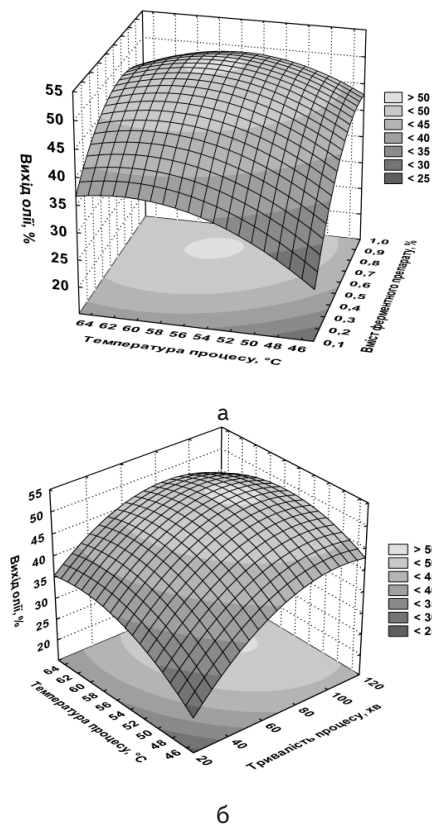
Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,9871$ 

Рис. 2. Залежність виходу олії від параметрів процесу:  
а) температури гідролізу та вмісту ферментного препарату; б) температури та тривалості гідролізу

## Висновки

В результаті проведених досліджень показано принципову можливість та доцільність використання комплексу ферментів класу гідролаз у підготовці соняшникової макухи до вилучення олії. Методом математичного моделювання щодо ферментативного гідролізу олійної сировини встановлено оптимальні параметри та проаналізовано внесок кожного із предикторів на ефективність процесу в цілому.

## Література

1. Shahidi F. Bailey's industrial oil and fat products [Текст] / F. Shahidi. – [6<sup>th</sup> ed.]. – Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 2005. – 3616 p.
2. Щербаков В. Г. Биохимия и товароведение масличного сырья [Текст] / В. Г. Щербаков. – М: Агропромиздат, 1991. – 304 с.
3. Rastall R. Novel enzyme technology for food applications [Текст] / R. Rastall. – Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, England, 2007. – 336 pp.
4. Bornscheuer U. T. Hydrolases in organic synthesis : regio- and stereoselective biotransformations [Текст] / U. T. Bornscheuer, R. J. Kazlauskas. – Weinheim: Wiley-VCH, 2006. – 355 pp.
5. Whittall J. Practical methods for biocatalysis and biotransformations [Текст] / J. Whittall, P. Sutton. – Chichester, U.K.: J. Wiley, 2010. – 402 pp.
6. Копейковский В. М. Лабораторный практикум по технологии производства растительных масел [Текст] / В.М. Копейковский, А.К. Мосян, Л.А. Мхитарьянц – М: Агропромиздат, 1990 – 191 с.
7. Montgomery D.C. Design and analysis of experiments [Текст] / D.C. Montgomery. – [7<sup>th</sup> ed.]. – New York, John Wiley & Sons, 2008. – 656 pp.